

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-299733

(43)Date of publication of application : 11.10.2002

(51)Int.Cl.

H01S 3/10

G02B 5/28

H04B 10/02

H04B 10/28

(21)Application number : 2001-104201

(71)Applicant : MITSUBISHI CABLE IND LTD

(22)Date of filing : 03.04.2001

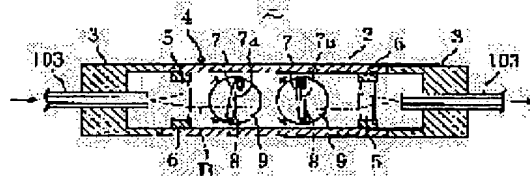
(72)Inventor : MAEDA JUNYA
KOTO MASAHIRO
TADATOMO KAZUYUKI
TANIGUCHI KOICHI

(54) OPTICAL GAIN EQUALIZER, OPTICAL AMPLIFIER, AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce cost in coping with sharp gain transmission characteristics using few etalon filters, make an optical gain equalizer compact in size, and ease adjustment of arrangement of the etalon filters.

SOLUTION: A notch 7a is partly formed in an etalon filter arranged within an enclosure 4, and the thickness of a not-notched part is partly made different from that of the notch 7a, thus forming an area with different transmission characteristics.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

【特許請求の範囲】

【請求項1】 筐体内に少なくとも1枚のエタロンフィルタが配置され、利得媒質を経て増幅された光が上記エタロンフィルタを透過することで当該増幅光に損失を与えて利得の波長依存性を低減する光利得等化器であって、
上記少なくとも1枚のエタロンフィルタは、透過特性の異なる領域を2以上有していることを特徴とする光利得等化器。

【請求項2】 請求項1記載の光利得等化器において、透過特性の異なる領域は、エタロンフィルタの厚さを部分的に変えることで形成されていることを特徴とする光利得等化器。

【請求項3】 請求項1記載の光利得等化器において、透過特性の異なる領域は、エタロンフィルタの屈折率を部分的に変えることで形成されていることを特徴とする光利得等化器。

【請求項4】 請求項1記載の光利得等化器において、透過特性の異なる領域は、エタロンフィルタの反射率を部分的に変えることで形成されていることを特徴とする光利得等化器。

【請求項5】 伝送途中で信号光を増幅する光増幅器と、
この光増幅器の利得を等化する請求項1～4のいずれか1項に記載の光利得等化器とを備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項6】 波長多重された信号光を送出する送信機と、
信号光を受信する受信機と、
上記送信機と受信機とを接続する光ファイバ網と、
この光ファイバ網に介設された請求項5記載の光増幅装置とを備えたことを特徴とする光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化する場合に、この利得の波長依存性を補償するために使用される光利得等化器、このような光利得等化器を備えた光増幅装置、及びこれらから構成された光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信システムの大容量化を実現する技術の1つとして、1つの光ファイバに複数の波長の光信号を多重化して伝送する波長多重伝送(WDM: Wavelength Division Multiplexing)方式が注目されている。このようなWDM方式においては、エルビウム等の希土類をドープした光ファイバを増幅媒体としたエルビウムドープファイバアンプ(EDFA)が複数の波長の信号を一括して増幅することができることから、有効な増幅手段として考えられている。

【0003】しかし、EDFAの利得は大きな波長依存性を持っているため、増幅後の各信号の出力レベルが波長毎に異なってしまう。さらに、EDFAを多段接続した場合には、上記増幅後の各信号の出力レベル差は累積されてしまう。

【0004】このため、各増幅段毎に利得等化するフィルタを備えた光利得等化器を取り付けることが試みられている。例えば、利得等化フィルタとしてエタロンフィルタを用いた光利得等化器では、高精度の利得等化特性が得られることが報告されている(「光ファイバ増幅器用利得等化器」NEC技報Vol.51 No4/1998 第49～53頁、特開平9-289349号公報及び特開2000-106544号公報参照)。

【0005】この光利得等化器では、必要とする透過特性を波長に対するフーリエ級数に展開し、それぞれのフーリエ展開項と同じ振幅、周期及び位相の正弦波状損失特性を有するエタロンフィルタを光の伝搬方向に並べて配置することにより、所望の利得等化特性を得るというものである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述の如き光利得等化器に用いられるエタロンフィルタでは、要求される利得透過特性が非常に急峻な場合、そのフーリエ展開項が非常に多くなる。このため、必要とするエタロンフィルタの枚数が多くなってコスト高になるとともに、光利得等化器が大型化し、さらには、個々のエタロンフィルタの配置調整が困難になる。

【0007】この発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、少ない枚数のエタロンフィルタで急峻な利得透過特性に対応してコストを低減するとともに、光利得等化器の小型化を図り、さらには、エタロンフィルタの配置調整を容易にすることである。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、この発明は、エタロンフィルタに対して透過特性の複合化を図ったことを特徴とする。

【0009】具体的には、請求項1に記載の発明は、筐体内に少なくとも1枚のエタロンフィルタが配置され、利得媒質を経て増幅された光が上記エタロンフィルタを透過することで当該増幅光に損失を与えて利得の波長依存性を低減する光利得等化器において、上記少なくとも1枚のエタロンフィルタとして、透過特性の異なる領域を2以上有しているものを採用したことを特徴とする。

【0010】上記の構成により、請求項1に記載の発明では、入射光がエタロンフィルタの透過特性の異なる領域に入射すると、透過特性の異なった透過光が出射する。これら透過光は単に透過特性の和になるだけでなく、互いに干渉して特異な透過特性を持つようになる。このため、これら透過光の合成波によりある波長で急峻

に減衰させるような特性が容易に作り出される。

【0011】したがって、エタロンフィルタを多く用いる必要がなく、その分、コストが低減するとともに、小型の光利得等化器が得られ、さらには、エタロンフィルタの配置調整が容易になる。

【0012】請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、透過特性の異なる領域は、エタロンフィルタの厚さを部分的に変えることで形成されていることを特徴とする。

【0013】上記の構成により、請求項2に記載の発明では、透過特性の異なる領域を形成する具体的な手段が明示される。

【0014】請求項3に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、透過特性の異なる領域は、エタロンフィルタの屈折率を部分的に変えることで形成されていることを特徴とする。

【0015】上記の構成により、請求項3に記載の発明では、透過特性の異なる領域を形成する具体的な別の手段が明示される。

【0016】請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、透過特性の異なる領域は、エタロンフィルタの反射率を部分的に変えることで形成されていることを特徴とする。

【0017】上記の構成により、請求項4に記載の発明では、透過特性の異なる領域を形成する具体的なさらなる別の手段が明示される。

【0018】請求項5に記載の発明は、光増幅装置として、伝送途中で信号光を増幅する光増幅器と、この光増幅器の利得を等化する請求項1～4のいずれか1項に記載の光利得等化器とを備えたことを特徴とする。

【0019】上記の構成により、請求項5に記載の発明では、利得特性が平坦化された光増幅装置が得られる。

【0020】請求項6に記載の発明は、光伝送システムとして、波長多重された信号光を送出する送信機と、信号光を受信する受信機と、上記送信機と受信機とを接続する光ファイバ網と、この光ファイバ網に介設された請求項5記載の光増幅装置とを備えたことを特徴とする。

【0021】上記の構成により、請求項6に記載の発明では、光伝送システム全体において利得特性の平坦化が補償される。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態について図面に基いて説明する。

【0023】図6はこの発明の一実施形態に係る光伝送システム100の概略構成を示す。この光伝送システム100は、信号光を送出する送信機101と、信号光を受信する受信機102とを備え、上記送信機101と受信機102とは、信号光を伝送する光ファイバ103のファイバ網に接続され、この光ファイバ網に複数（図6では2つのみ表れる）の光増幅装置（光ファイバ増幅装

置）10が介設されている。

【0024】上記光増幅装置10は、伝送途中で信号光を増幅する光ファイバ増幅器11と、この光ファイバ増幅器11の利得を等化する光利得等化器1とを備えている。図5に示すように、上記光ファイバ増幅器11は、エルビウムドープ光ファイバ12と、このエルビウムドープ光ファイバ12を励起するための励起光源13とを備えている。励起光源13は、例えば波長1.48 μ m帯又は波長0.98 μ m帯の励起光（pump light）を発するレーザ光源であり、光ファイバ103に介設された光カプラ14により上記エルビウムドープ光ファイバ12に接続されている。

【0025】このように構成された光増幅装置10では、図5左側から光ファイバ103を伝搬してきた信号光（波長：例えば1538～1564nm）は光カプラ14へ入力される一方、励起光源13からの励起光も光ファイバ103を介して光カプラ14へ入力される。そして、この光カプラ14において、上記入力した信号光及び励起光が結合されてエルビウムドープ光ファイバ12へ出力され、エルビウムドープ光ファイバ12で信号光の強度が増幅される。この増幅された信号光は波長に依存した強度のばらつきを有するが、出力側（受信機102側）の光利得等化器1に入力されて信号光強度のばらつきを補償するようにフィルタリングされ、これにより利得が等化（平坦化）された信号光は出力される。

【0026】一方、上記光利得等化器1は、図1に示すように、両端が開口した円筒形の筒体2と、この筒体2の両端に接続された一対のスリーブ3とからなる筐体4を備え、上記各スリーブ3には光ファイバ103が接続されている。一方、上記筒体2内の両端開口側には、一対のコリメータレンズ5がスペーサ6によってそれぞれ取り付けられているとともに、これらコリメータレンズ5の間には、2枚のエタロンフィルタ7が光の伝搬方向に間隔をあけて並んで配置されている。これら2段のエタロンフィルタ7はそれぞれ支持具8を介して回転板9に取り付けられ、回転板9を回転させることでエタロンフィルタ7に対する信号光の入射角を調整して取付け誤差による利得等化特性のシフトを補正するようになっている。

【0027】この光利得等化器1のフィルタリング特性は、利得媒質（エルビウムドープ光ファイバ）全体の最終的なゲイン特性に応じて決定される。利得媒質全体のゲイン特性が例えば図2（a）の曲線に示される波長依存性を持つ場合、光利得等化器1のフィルタリング特性は図2（d）の曲線に示すような波長依存性を持つように設計される。図2（a）及び（d）から明らかなように、図2（d）の光利得等化器1の曲線はフィルタリング前の図2（a）の曲線の利得の相対的に高い部分に対してより大きな損失を与えるプロファイルを有している。図2（d）の曲線に示すような波長依存性を持つフ

フィルタリング特性は、入力側（図1左側）のエタロンフィルタ7のフィルタリング特性（図2（b））と、出力側（図1右側）のエタロンフィルタ7のフィルタリング特性（図2（c））との組み合わせにより得られる。利得媒質によって増幅された出力光の強度は、図2（a）のゲイン特性に応じた波長依存性を持つに至るが、その後、出力光強度の相対的に高い成分が光利得等化器1によって部分的にカットされるため、最終的には図2

（e）の曲線で示される光を得ることができる。

【0028】つまり、厚さd、屈折率nのエタロンフィルタ7の両面に反射率Rの半透過膜を施した場合、そのエタロンフィルタ7の透過光の波長特性は次式で表すことができる。

【0029】

【数1】

$$T(\lambda) = 10 \log \left[\frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2(\delta/2)} \right] \quad (1)$$

$$\delta = \frac{4\pi n d \sqrt{1 - \sin^2 \theta / n^2}}{\lambda} \quad (2)$$

ここで、 λ は光の波長、 θ はエタロンフィルタ7へのビーム入射角である。

【0030】したがって、必要とする透過特性を波長に対するフーリエ級数に展開し、それぞれのフーリエ展開項と同じ振幅、周期及び位相の上記（1）式で示される正弦波状損失特性を有するエタロンフィルタ7を光の伝搬方向に並べて配置することにより、光ファイバ増幅器11の増幅特性（利得特性）を平坦化することができる。

【0031】この発明の特徴として、上記2枚のエタロンフィルタ7は、透過特性の異なる領域をそれぞれ2つ有している。ここでは、後述する実施例1（図3（a）参照）の形態を示し、透過特性の異なる領域をエタロンフィルタ7の厚さを部分的に変えることで形成している。つまり、エタロンフィルタ7の片面の半分の領域にエッチングにより切欠部7aを形成し、切り欠いていない部分の厚さt1と切欠部7aの厚さt2とを部分的に異ならせることにより、透過特性の異なる領域を形成している。なお、エッチング以外に、エタロンフィルタを貼り合わせることで部分的に厚さを変えるようにしてもよい。

【0032】透過特性の異なる領域は、上記以外に、後述する実施例2（図4（a）参照）のように、エタロンフィルタ7の両面に反射率の異なる半透過膜m1、m2をコーティングにより形成して、エタロンフィルタ7の反射率を部分的に変えることで形成するようにしてもよい。

【0033】また、透過特性の異なる領域を形成するさらなる別の手法として、図示しないが、エタロンフィルタ7に母材と異なる成分をドーピングしたり、イオン交換することで屈折率を部分的に変えるようにしてもよい。

【0034】そして、このようなエタロンフィルタ7を備えた光利得等化器1では、図3（a）及び図4（a）に示すように、入射光b1がエタロンフィルタ7の透過特性の異なる領域に入射すると、透過特性の異なった透

過光b2、b3が出射する。これら透過光b2、b3は単に透過特性の和になるだけでなく、互いに干渉して特異な透過特性を持つようになる。このため、これら透過光b2、b3の合成波によりある波長で急峻に減衰させるような特性を容易に作り出すことができる。

【0035】したがって、エタロンフィルタ7を多く用いる必要がなく、その分、コストを低減することができるとともに、光利得等化器1を小型にすることができ、さらには、エタロンフィルタ7の配置調整を容易に行うことができる。

【0036】次に、透過特性の異なる領域を部分的に変えた例として、エタロンフィルタ7の厚さを部分的に変えた実施例1と、エタロンフィルタ7の反射率を部分的に変えた実施例2とを代表例として以下に挙げる。

【0037】（実施例1）図3（a）に示すように、30 μ mの厚さのシリコン基板をエッチングにより部分的に25 μ mまで薄くして切欠部7aを部分的に形成し、切り欠いていない部分の厚さt1と切欠部7aの厚さt2とを部分的に異ならせることにより、透過特性の異なる領域を有するエタロンフィルタ7を得た。このエタロンフィルタ7によれば、図3（b）に示すように、透過特性の異なった透過光b2、b3が干渉して急峻な減衰作用を有する利得透過特性を得ることができた。

【0038】（実施例2）図4（a）に示すように、30 μ mの厚さの石英基板の両面に反射率が7%の半透過膜m1と、反射率が5%の半透過膜m2とをそれぞれコーティングにより形成して、エタロンフィルタ7の反射率を部分的に変えることにより、透過特性の異なる領域を有するエタロンフィルタ7を得た。このエタロンフィルタ7によれば、図4（b）に示すように、透過特性の異なった透過光b2、b3が干渉して急峻な減衰作用を有する利得透過特性を得ることができた。

【0039】なお、上記の実施形態では、切欠部7aをエタロンフィルタ7の片面の半分の領域に切欠き形成したが、厚肉部を格子状に形成したり、同心円状に形成するなどして厚さを部分的に変えることで透過特性の異な

った領域を部分的に形成するようにしてもよい。

【0040】さらに、上記の実施形態では、2枚のエタロンフィルタ7にそれぞれ切欠部7aを形成して共に透過特性の異なる領域を形成したが、場合によっては1枚のエタロンフィルタ7にだけ切欠部7aを形成してもよい。

【0041】また、上記の実施形態では、2枚のエタロンフィルタ7を伝搬方向に間隔をあけて並べて配置した2段配置を例示したが、3枚以上のエタロンフィルタ7を伝搬方向に間隔をあけて並べて配置した多段配置にも適用することができるものである。また、各段のエタロンフィルタ7毎に異なる手法により透過特性の異なる領域を形成してもよい。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、筐体内に配置された少なくとも1枚のエタロンフィルタに透過特性の異なる領域を2以上形成したので、エタロンフィルタを透過することで透過特性の異なった透過光が互いに干渉して得られる急峻な減衰作用という特異な特性により、エタロンフィルタの枚数を少なくして低コストで小型の光利得等化器とすることができ、しかも、エタロンフィルタの配置調整を容易に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】光利得等化器の概略構成図である。

【図2】(a)は光ファイバ増幅器の増幅特性を示すグ

ラフ、(b)は1段目のエタロンフィルタの損失特性を示すグラフ、(c)は2段目のエタロンフィルタの損失特性を示すグラフ、(d)は1段目及び2段目のエタロンフィルタの波長を合成した損失特性を示すグラフ、(e)はフィルタリング後の特性を示すグラフである。

【図3】(a)は実施例1のエタロンフィルタの構成図、(b)は実施例1で得られた透過光の波長特性を示すグラフである。

【図4】(a)は実施例2のエタロンフィルタの構成図、(b)は実施例2で得られた透過光の波長特性を示すグラフである。

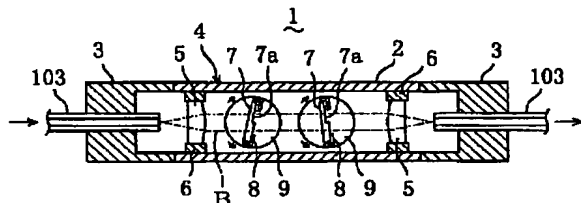
【図5】光増幅装置の概略構成図である。

【図6】光伝送システムの概略構成図である。

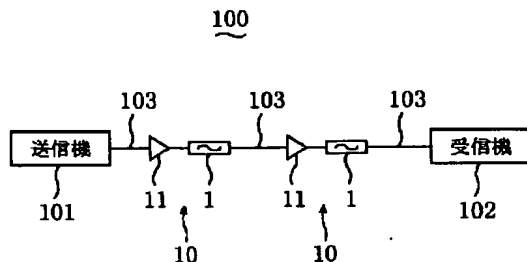
【符号の説明】

1	光利得等化器
4	筐体
7	エタロンフィルタ
10	光増幅装置
11	光ファイバ増幅器
12	エルビウムドープ光ファイバ(利得媒質)
100	光伝送システム
101	送信機
102	受信機
103	光ファイバ

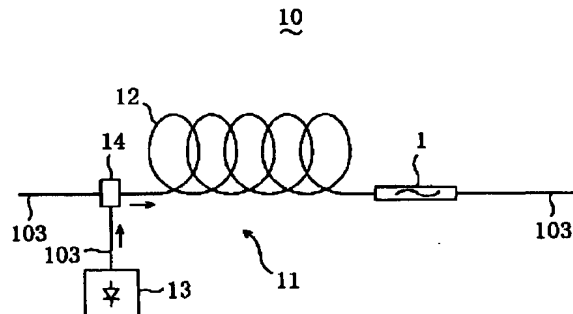
【図1】



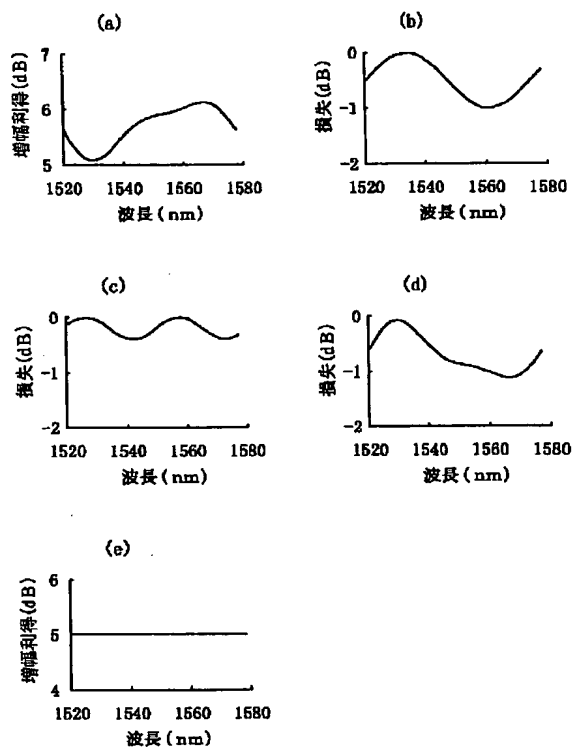
【図6】



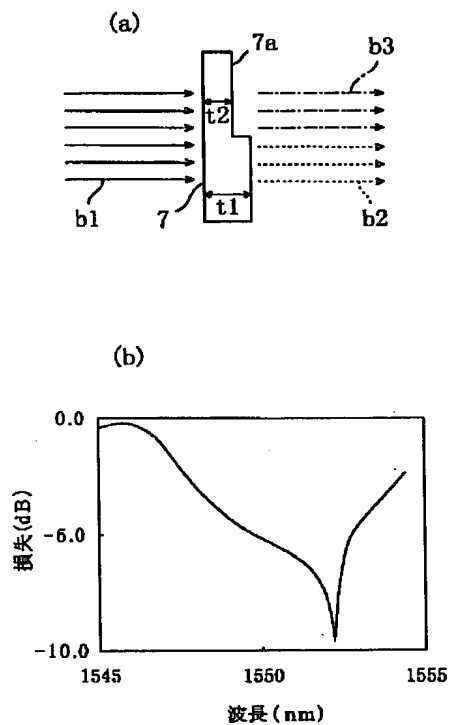
【図5】



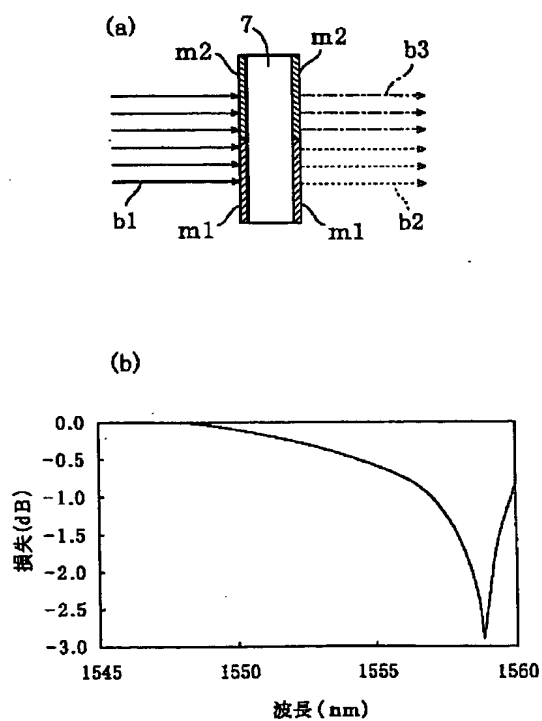
【图2】



【图3】



【图4】



フロントページの続き

(72)発明者 只友 一行
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線
工業株式会社伊丹製作所内
(72)発明者 谷口 浩一
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線
工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 2H048 GA09 GA13 GA23 GA25 GA48
GA51 GA60 GA62
5F072 AB09 AK06 JJ01 JJ08 KK08
PP07 RR01 YY17
5K002 BA02 CA03 CA13 FA01